

УДК 576.895.42 + 591.52

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ФАКТОРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ
ОЧАГОВ КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА
НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

© Е. И. Болотин, Г. Ш. Цициашвили, И. В. Голычева

Разработана методика факторного временного прогнозирования эпидемического проявления очагов клещевого энцефалита с использованием выделенных критических уровней заболеваемости. Отмечены высокая точность потенциальных результатов прогноза и очевидная перспективность предлагаемой методики прогнозирования.

Разработка методических основ временного прогнозирования заболеваемости природно-очаговыми инфекциями, безусловно, является важной и приоритетной научно-практической задачей. Тем более это весьма актуально в настоящее время, когда значительно обострилась эпидемическая ситуация относительно этих заболеваний не только в нашей стране, но и во многих регионах мира.

Анализ достаточно обширной научной литературы по прогнозированию, в том числе и ряда фундаментальных сводок (Мисюк и др., 1972; Четыркин, 1975; Мартино, 1977; Рабочая книга..., 1982; Цыпичко, 1986; Добров и др., 1989, и др.) позволяет выделить два реальных подхода к временному прогнозированию эпидемического проявления природных очагов инфекций, среди которых клещевой энцефалит (КЭ) занимает особое положение, это экстраполяционный и факторный прогнозы. Первый из них уже применялся при изучении природно-очаговых инфекций (Наумов и др., 1989, 1990; Болотин, 2001, и др.) и по существу «работает» по принципу так называемого «черного ящика». Другими словами, реализация экстраполяционного прогноза основывается на представлении о том, что используемые временные ряды заболеваемости (или другие эпидемические показатели) представляют собой некий фиксированный итог влияния совокупности различных факторов, в котором априори содержится определенная прогностическая информация (Эйрес, 1972; Ягодинский, 1977).

Более сложный, но и, видимо, более объективный факторный подход на первом этапе непосредственно включает подбор и оценку потенциальных воздействующих факторов и лишь затем реализацию собственно прогноза. Можно привести известные примеры использования факторного подхода при временном прогнозировании эпидемического проявления природных очагов инфекций, в частности это исследования Вереты (1975), Окуловой (1986) и Ротшильда, Куролапа (1992).

Однако, как показали специально проведенные нами предварительные исследования по изучению тесноты и, главное, стабильности связей между многолетними рядами заболеваемости КЭ в Приморском крае и некоторыми предполагаемыми воздействующими факторами, выявленные уровни связи оказались весьма неустойчивыми. Другими словами, для каждого из используемых воздействующих факторов характерна значительная изменчивость тесноты связи с заболеваемостью при изменении длины временного ряда или использовании разных временных периодов. Такая «пульсирующая корреляция» между заболеваемостью и воздействующими факторами,

дающая весьма расплывчатые и неубедительные результаты, резко ограничивает возможности применения линейных статистических моделей для реализации факторного временного прогнозирования. В то же время обращение к более реалистическим нелинейным моделям затруднено из-за сравнительно коротких временных рядов наблюдений. Поэтому возникла идея изменить постановку самой задачи прогноза. Сущность этой идеи заключается в том, что прогнозируются конкретные события, когда уровень заболеваемости (потенциальное число заболевших) может быть выше или равным некоторой критической линии, задаваемой исследователем (экспертом). Такая постановка задачи важна, на наш взгляд, не только в чисто содержательном плане, но и методически, поскольку предлагаемый способ ее реализации, имеющий универсальный характер, может легко воспроизводиться как в эколого-эпидемиологических исследованиях, так и в других научных областях. Весьма важным является и то, что используемые для анализа воздействующие факторы могут быть любой природы (абиотические, биотические, социальные, экономические и т. д.), а число их в принципе не ограничено.

Предлагая данный способ временного прогнозирования, естественно, в первую очередь необходимо рассмотреть вопрос о степени точности получаемых результатов при работе с различными статистическими выборками. Именно этому вопросу в значительной степени посвящено данное сообщение.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для анализа послужили статистические данные по динамике заболеваемости КЭ за 1973—1998 гг. в ряде очаговых районов и регионов Приморского края, ранее обоснованных и выделенных нами (Болотин, 2000). В работе также используются воздействующие факторы, представляющие собой многолетние ряды среднегодовых значений 8 метеофакторов 3 метеостанций, характеризующих южную, среднюю и северную климато-географические зоны Приморского края (соответственно метеостанции — Артем, Яковлевка, Мельничное). Используемые метеофакторы включают: среднюю температуру января (Б), абсолютный температурный минимум (В), среднюю температуру года (Г), продолжительность безморозного периода (Д), среднюю температуру мая (Е), среднюю высоту снежного покрова (Ж), число дней со снежным покровом (З) и снежно-температурный коэффициент (И), представленный здесь как отношение средней температуры января и средней высоты снежного покрова за этот же период.¹

Выбор на первом этапе исследований именно этих воздействующих факторов отражает некоторые наши представления о возможной структуре и иерархии связей в системе «заболеваемость КЭ—факторы среды» (Болотин, Горковенко, 1998, и др.). Однако естественно что при дальнейших исследованиях спектр воздействующих факторов может как угодно корректироваться в зависимости от тех или иных установок, обстоятельств и теоретических представлений.

Методика факторного прогнозирования критических уровней заболеваемости КЭ базируется на следующем, разработанном нами алгоритме. Первоначально эмпирическая информация по заболеваемости КЭ и воздействующим факторам, характеризующая тот или иной временной отрезок и ту или иную территорию, представляется в виде матриц исходных данных, в которых строки обозначают годы, а столбцы — показатели заболеваемости и воздействующих факторов. Далее выделяются годы (строки) с критическими уровнями заболеваемости и соответствующими им показателями воздействующих факторов. Выделенные годы с критическими уровнями заболеваемости образуют (или попадают) интервалы определенных значений воздействующих факто-

¹ Выражаем искреннюю признательность начальнику территориального управления по гидрометеорологии по Приморскому краю В. Г. Федорею за любезное предоставление метеорологических материалов.

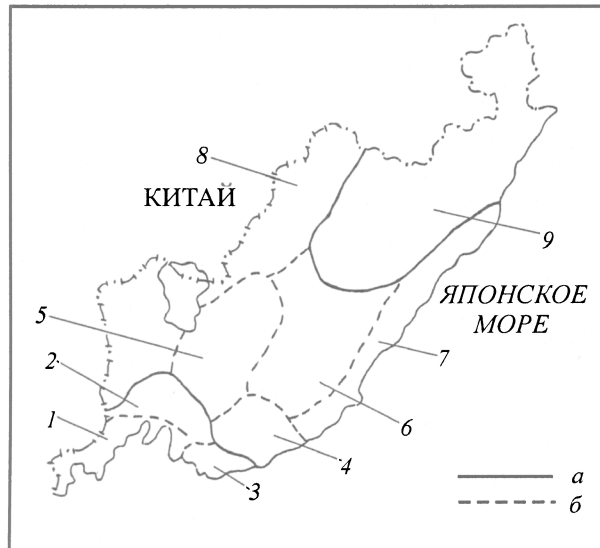
ров. Однако в эти же интервалы могут попадать и годы, в которые заболеваемость ниже выделенного нами критического уровня. Условно назовем такие годы как «ложнокритические». Обозначим количество критических и «ложнокритических» лет соответственно как «х» и «у». Тогда отношение $p = x/(x + y)$ можно трактовать как вероятность правильно идентифицировать (прогнозировать) критические годы по выделенным интервалам воздействующих факторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На представленном рисунке отражена схема районирования Приморского края, выполненная на основе различий в многолетней динамике заболеваемости КЭ. Территория Приморья дифференцирована на три очаговых региона — Южно-Приморский, Средне-Приморский и Северо-Приморский. В свою очередь, каждый из выделенных очаговых регионов соответственно включает 3, 5 и 1 очаговый район (Болотин, 2000). Данная схема районирования Приморского края (см. рисунок, табл. 3) послужила территориальной «привязкой» для факторного временного прогнозирования эпидемического проявления очагов КЭ на основе выше рассмотренной методики.

Для каждой из 11 выделенных очаговых территорий были подготовлены матрицы исходных данных, одна из которых для примера отражена ниже (табл. 1). В ней представлены многолетние ряды заболеваемости КЭ (А) и воздействующих факторов (Б—И) в Находкинском очаговом р-не. Напомним, что в данном случае использовались воздействующие факторы по метеостанции Артем, характеризующей юг Приморского края, куда входит и Находкинский очаговый р-н.

В представленной табл. 1 полужирным шрифтом выделены критические годы с заболеваемостью КЭ, условно установленной нами на уровне не ниже трех случаев (на 100 тыс. населения). Всего за рассматриваемый период выделено шесть критических лет. «Ложнокритические» годы выделены в данной табл. 1 курсивом и таким оказался



Карто-схема районирования Приморского края по характеру движения заболеваемости клещевым энцефалитом.

a — границы очаговых регионов; *б* — границы очаговых районов. Очаговые районы: 1 — Хасанско-Шкотовский; 2 — Надеждинско-Уссурийский; 3 — Находкинский; 4 — Партизанско-Лозовский; 5 — Спасско-Лесозаводский; 6 — Чугуевский; 7 — Кавалеровско-Дальнегорский; 8 — Дальнереченско-Лучегорский; 9 — Центрально-Красноармейско-Пожарский.

Mapping of the Primorsky area based on a moving mode of the tick-borne encephalitis infection.

Таблица 1
Пример матрицы исходных данных по Находкинскому очаговому району
(пояснения в тексте)

Table 1. Example of basic data matrix for the Nakhodkinsky focal region

Годы	Временные ряды исходных данных:								
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
1973	0.0	-11.8	-26.6	4.9	145	11	5	80	-2.4
74	0.5	-12.4	-26.8	4	160	10.9	5	95	-2.3
75	0.5	-12.4	-25.9	5.3	175	12	15	85	-0.8
76	0.0	-12.8	-27.6	4.2	155	10.7	10	125	-1.3
77	0.0	-19.2	-31.9	3.9	145	10.7	20	85	-1
78	6.5	-13.8	-31	4.9	150	11.6	10	110	-1.4
79	2.5	-12.7	-28.9	4.9	165	10	5	80	-2.5
80	0.5	-15.5	-31.5	4.2	150	11.7	10	100	-1.6
81	1.5	-13.8	-25	4.4	150	10.9	5	130	-2.8
82	2	-13.5	-29	3.2	160	11	5	85	-2.7
83	1.5	-11.7	-26	4.4	165	11	10	110	-1.2
84	0.5	-15.2	-28.9	4	155	11.2	5	110	-3
85	0.0	-17.3	-32	4.1	150	11.7	10	95	-1.7
86	1	-16	-30.7	3.9	140	11	5	95	-3.2
87	1	-16	-30.1	4.3	150	11	10	115	-1.6
88	0.5	-13.9	-25.2	3.9	150	10.7	10	100	-1.1
89	2	-12	-27.2	5	145	11	5	85	-1.8
90	3.5	-18	-30.4	5.3	160	11.5	10	75	-1.5
91	3	-14	-23.7	4.4	175	12.5	5	50	-2.2
92	2.5	-13	-24.4	4.3	160	11	10	105	-1
93	3	-14	-25.5	4.1	165	10.5	10	75	-1.1
94	6	-17	-27	4.6	175	11.5	15	115	-0.9
95	5.5	-14	-25	4.4	150	11	10	100	-1.1
96	2.5	-14.9	-25.5	5.5	165	10.3	5	105	-2.4
97	1.5	-16	-26.9	5.5	150	10.8	10	110	-1.2
98	0.0	-17	-27.6	5	160	13.3	5	100	-2.8

только один год. Применяя предложенную выше формулу расчета, получаем, что вероятность правильного прогноза, в рамках используемых фактических данных, составляет 85.7 %.

Рассмотрим еще один весьма важный аспект факторного прогнозирования, касающийся прогностической ценности (значимости) тех или иных используемых воздействующих факторов. В табл. 2 представлены материалы, отражающие диапазоны параметров воздействующих факторов по Находкинскому очаговому району в критические

Таблица 2
Прогностическая значимость воздействующих факторов
по Находкинскому очаговому району
Table 2. Prognostic value of acting factors in the Nakhodkinsky focal region

Факторы	Диапазон параметров в критические годы	Число правильно распознанных лет
Средняя температура января (Б)	(-13.8)—(-18)	10
Абсолютный температурный минимум (В)	(-23.7)—(-31)	3
Средняя температура года (Г)	4.1—5.3	8
Продолжительность безморозного периода (Д)	150—175	4
Средняя температура мая (Е)	10.5—12.5	2
Средняя высота снежного покрова (Ж)	5—15	1
Число дней со снежным покровом (З)	50—115	2
Снежно-температурный коэффициент (И)	(-0.9)—(-2.2)	10

Таблица 3
Точность прогноза (в %) заболеваемости клещевым энцефалитом
для различных очаговых территорий Приморского края по комплексу метеофакторов

Table 3. Reliability of prognosis (in %) of the tick-borne encephalitis infection
for different focal territories in the Primorsky area based on a complex of meteorological factors

Очаговые регионы и районы	Критические уровни	Число критиче- ских лет	Число «ложно- критических» лет	Точность прогноза
Очаговые регионы				
Южно-Приморский	3	9	2	81.8
Средне-Приморский	7	8	3	72.7
Северо-Приморский	10	14	4	77.7
Очаговые районы				
Хасанско-Шкотовский	3	7	0	100
Надеждинско-Уссурийский	3	10	0	100
Находкинский	3	6	1	85.7
Партизанско-Лозовский	7	6	0	100
Спасско-Лесозаводский	7	11	5	68.8
Чугуевский	7	8	3	72.7
Кавалеровско-Дальнегорский	7	11	8	57.9
Дальнереченско-Лучегорский	7	10	4	71.4

Примечание. Северо-Приморский очаговый регион одновременно является и Центрально-Красноармейско-Пожарским очаговым районом (см. рисунок).

годы, а также число лет, не попавших в эти диапазоны. Отметим, что чем больше число таких лет, тем в принципе жестче «сцеплен» тот или иной воздействующий фактор с заболеваемостью и, следовательно, выше его прогностическая (распознающая) значимость.

Как видно из табл. 2, все используемые воздействующие факторы достаточно четко можно разделить на две группы. При этом если для первой группы воздействующих факторов (Б, Г, И) число правильно распознанных лет колеблется от 8 до 10, то для второй (остальные факторы) — от 1 года до 4 лет. Принимая во внимание то, что общая длина анализируемого временного ряда заболеваемости КЭ составляет 26 лет (1973—1998 гг.), из которых 6 лет выделены как критические (т. е. рассматриваются оставшиеся 20 лет), можно считать первую группу воздействующих факторов «среднезначимыми», а вторую — «малозначимыми». Однако такое разделение условно, поскольку прогноз осуществляется одновременно комплексом факторов (их комбинированием), в результате чего точность его резко возрастает за счет уменьшения «ложнокритических» лет.

Проанализируем теперь общие результаты прогнозирования по критическим уровням заболеваемости для всех выделенных очаговых территорий Приморского края (табл. 3). Наиболее высокая точность прогноза выявлена для Южно-Приморского очагового региона, она составила 81.8 %. При дифференциации же данного региона на очаговые районы точность прогноза возрастает и достигает максимального 100 %-ного показателя в Хасанско-Шкотовском и Надеждинско-Уссурийском очаговом р-нах и несколько ниже (85.7 %) — в Находкинском очаговом р-не. Разброс точности прогноза для различных территорий Средне-Приморского очагового региона несколько шире и колеблется от 57.9 % в Кавалеровско-Дальнегорском до 100 %-ного в Партизанско-Лозовском очаговом р-нах. В остальных трех очаговых районах этого очагового региона точность прогноза практически совпадает и составляет в среднем 71 %.

В целом, основываясь на критерии точности прогнозирования, всю территорию Приморского края можно разделить на три части: южные отроги Сихотэ-Алиня и Восточных Маньчжурских гор, где расположены наиболее крупные города и сосредото-

точно 3/4 населения (точность прогноза для этой территории от 85.7 % до 100 %), западный и центральный Сихотэ-Алинь (68.8—77.7 %) и восточный Сихотэ-Алинь, т. е. территории, примыкающие к Японскому морю (57.9 %). Конечно, такая дифференциация очаговой территории достаточно условна и в дальнейшем будет в той или иной степени корректироваться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Относительно недавно Ротшильд и Куролап в известной работе, посвященной прогнозированию активности природных очагов зоонозных инфекций (1992), подчеркивали, что в настоящее время еще не создано сколько-нибудь прочной теоретической основы для объяснения того или иного характера функционирования этих очагов, которая могла бы способствовать прогрессу в прогнозных исследованиях. Однако выявленные нами новые факты, показывающие, что связь между заболеваемостью и воздействующими факторами имеет «пульсирующий» нелинейный характер, видимо, в определенной степени может быть исходной теоретической предпосылкой (или даже основой) для обоснования и реализации факторного временного прогнозирования.

Динамику эпидемической активности природных очагов инфекций, образно говоря, можно сравнить с музыкальным произведением, в котором воздействующими (определяющими) факторами выступают 7 нот, различные комбинации которых и создают тот или иной музыкальный ряд (композицию). В случае же с динамическими рядами заболеваемости число таких «нот» вообще неизвестно, а детерминация ими уровней заболеваемости, регистрируемых через коэффициенты корреляции или другие показатели, как мы отмечали, весьма изменчива (нестабильна) в разные временные отрезки. Возможно, такое сравнение на первый взгляд может показаться неожиданным, тем не менее оно представляется нам вполне корректным и весьма наглядным для общего понимания возможного механизма формирования динамического ряда и, следовательно, методики его изучения.

Предложенный способ временного прогнозирования критических уровней заболеваемости, с одной стороны, решает чрезвычайно острую проблему «нелинейности», а с другой — обладает рядом принципиально важных качеств. Во-первых, он достаточно прост для реализации, но в то же время универсален, т. е. способен «работать» с любой информацией, представленной в виде динамических рядов. Во-вторых, данный способ «прозрачен», так как все расчеты, осуществляемые с помощью подготовленной программы, можно достаточно быстро и наглядно реализовывать вручную. В-третьих, если следовать классификации Мартино (1977), известного и авторитетного в мире специалиста-прогноста, предложенный способ можно отнести к одной из высших ступеней реального прогнозирования, основанного на использовании динамических причинно-следственных моделей. В-четвертых, метод анализа критических уровней заболеваемости весьма перспективен, поскольку сразу же ставит ряд принципиальных вопросов. Например, как будет изменяться прогноз, если манипулировать количеством и «природой» воздействующих факторов? Что будет, если изменять длину рядов и критические уровни заболеваемости? Каково будет качество прогноза, если сопоставлять заболеваемость и воздействующие факторы не «год в год», а с разными лагами? Как меняется иерархия воздействующих факторов по признаку их прогностической значимости при анализе разных временных рядов? И еще целый ряд вопросов.

Таким образом, используемый метод прогнозирования, представляющий, на наш взгляд, теоретический и практический интерес, параллельно поставил и ряд важных вопросов, требующих скорейших ответов. И хотя, как ярко заметил великий физик Гейзенберг, для естествоиспытателя постановка вопросов важнее ответов, которые обычно имеют лишь временное значение (цит. по: Литвин, 1999), тем не менее, ответив на поставленные в работе вопросы с помощью широкого тестирования предложенного алгоритма на различных выборках, мы в перспективе должны получить универсальный метод временного прогнозирования.

Список литературы

- Болотин Е. И., Горковенко Л. Е. Некоторые аспекты изучения структуры и функционирования очагов клещевого энцефалита юга Дальнего Востока // Паразитология. 1998. Т. 32, вып. 1. С. 32—39.
- Болотин Е. И. Медико-географическая оценка территории Приморского края относительно клещевого энцефалита с некоторыми замечаниями о структурной организации очагов данной инфекции // Паразитология. 2000. Т. 34, вып. 5. С. 371—379.
- Болотин Е. И. О функциональной организации природных очагов клещевого энцефалита и прогнозе их эпидемического проявления: анализ одномерных временных рядов заболеваемости // Паразитология. 2001. Т. 35, вып. 5. С. 386—393.
- Верета Л. А. Принципы прогнозирования заболеваемости клещевым энцефалитом. М., 1975. 135 с.
- Добров Г. М., Коренной А. А., Мусиенко В. Б. и др. Прогнозирование и оценки научно-технических нововведений. Киев, 1989. 278 с.
- Литвин В. Ю. Природно-очаговые инфекции: ключевые вопросы и новые позиции // Журн. микробиол. 1999. № 5. С. 26—33.
- Мартини Дж. Технологическое прогнозирование. М., 1977. 592 с.
- Мисюк Н. С., Мастыкин А. С., Гришков Е. Г. Основы математического прогнозирования заболеваний человека. Минск, 1972. 200 с.
- Наумов Р. Л., Жигальский О. А., Гутова В. П. и др. Цикличность и прогноз заболеваемости клещевым энцефалитом в Красноярском крае, экспертная и математическая оценки // Мед. паразитол. 1989. Вып. 3. С. 3—6.
- Наумов Р. Л., Гутова В. П., Фонарева К. С. Степень совпадения долгосрочного экстраполяционного прогноза с реальной заболеваемостью клещевым энцефалитом в СССР // Мед. паразитол. 1990. Вып. 5. С. 40—43.
- Окулова Н. М. Биологические взаимосвязи в лесных экосистемах (на примере природных очагов клещевого энцефалита). М., 1986. 248 с.
- Рабочая книга по прогнозированию. М., 1982. 430 с.
- Ротшильд Е. В., Куролап С. А. Прогнозирование активности очагов зоонозов. М., 1992. 184 с.
- Цыпичко В. Н. Прогнозирование социально-экономических процессов. М., 1986. 207 с.
- Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. М., 1975. 184 с.
- Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. М., 1971. 296 с.
- Ягодинский В. Н. Динамика эпидемического процесса. М., 1977. 240 с.

Владивосток

Поступила 20.07.2001

SOME ASPECTS AND PERSPECTIVES OF FACTOR PROGNOSIS FOR THE EPIDEMIC MANIFESTATION OF THE TICK-BORNE ENCEPHALITIS BASED ON THE MULTIDIMENSIONAL ANALYSIS OF TEMPORAL ROWS

E. I. Bolotin, G. Sh. Tzitziashevili, I. V. Golycheva

Key words: factor temporal prognosis, critical level of infection, tick-borne encephalitis.

SUMMARY

A method of factor temporal prognosis for the epidemic manifestation of the tick-borne encephalitis foci has been elaborated, based on recognized critical levels of infection. High reliability of possible prognoses and obvious perspectives of the proposed method are noted.